

EL ACUEDUCTO DE LOS MILLARES: DESCRIPCIÓN Y NUEVAS INVESTIGACIONES

The aqueduct of Los Millares: Description and new investigations

ANORTE ELISABETH JAKOWSKI*, ANDREA SCHRÖDER-RITZRAU**, NORBERT FRANK** y JOSÉ MIGUEL ALONSO BLANCO***

RESUMEN En los años 1892/93 Luis Siret describió la existencia de una fuente, una conducción y un gran depósito de agua en el recinto fortificado de Los Millares. Se presentan los resultados de una prospección geológica, hidrogeológica y arqueológica para el suministro de agua de Los Millares. Para ello, se han revisado y medido todos los hallazgos anteriores y se presentan en una sinopsis. Los estudios por $^{230}\text{Th}/\text{U}$ de capas estalagmíticas depositadas en los cimientos de los muros de esta conducción, han proporcionado una prueba arqueométrica de que durante el Cobre Temprano y Medio en este poblado existía una conducción de agua como la descrita por Luis Siret. No se ha podido verificar la localización de la fuente dibujada por Siret. Pero en otro lugar cercano se han tomado muestras de capas estalagmíticas depositadas en un manantial durante la existencia de la fortificación o poco después de que fuera abandonada.

Palabras clave: Los Millares, Calcolítico, Suministro de agua, Acueducto, Fuente, Datación U-Th.

ABSTRACT In 1892/93 Luis Siret described a spring, a water conduction to and a large water reservoir in the Los Millares fortification. The current results of the geological, hydrogeological and archaeological studies of the water supply of Los Millares are presented. Therefore all previous findings on the water supply were newly recorded and are now presented in a synopsis. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ investigations of sinter deposits on wall foundations of this water conduction provided archaeometric evidence that within the settlement in the early and the middle Copper Age existed a water conduit, as described by Luis Siret. The location of the source drawn by Siret could not be verified. But at another

* Universidad de Frankfurt/Main, Alemania. a.jakowski@gmx.de

** Universidad de Heidelberg, Alemania. andrea.schroeder-ritzrau@iup.uni-heidelberg.de, norbert.frank@iup.uni-heidelberg.de

*** Ofitec 2011, O.T., Geólogo consultor, Almería. jmalonso55@gmail.com

Fecha de recepción: 25-01-2021. Fecha de aceptación: 07-06-2021.

<http://dx.doi.org/10.30827/CPAG.v31i0.17848>

place nearby sinter deposits of a source were sampled which originated still during the existence or shortly after the fortification was abandoned.

Keywords: Los Millares, Copper Age, Water Supply, Aqueduct, Source, U-Series Dating.

ZUSAMMENFASSUNG 1892/93 beschrieb Luis Siret eine Quelle, eine Wasserleitung nach sowie einen großen Wasserspeicher in der Befestigungsanlage von Los Millares. Die Ergebnisse der aktuellen geologischen, hydrogeologischen und archäologischen Prospektion zur Wasserversorgung von Los Millares werden vorgestellt. Dazu wurden alle bisherigen Befunde zur Wasserversorgung neu aufgenommen und in einer Zusammenschau dargestellt. ²³⁰Th/U-Untersuchungen an Kalksinterablagerungen von Mauerfundamenten der Wasserleitung erbrachten den archäometrischen Nachweis, dass während der frühen und mittleren Kupferzeit in dieser Siedlung eine Wasserleitung existierte, wie sie schon von Luis Siret beschrieben wurde. Der Standort der von Siret gezeichneten Quelle konnte nicht verifiziert werden. An anderer Stelle in der Nähe wurden jedoch Sinterproben einer Quelle genommen, die noch während des Bestehens oder kurz nach dem Auflassen der Befestigungsanlage entstanden sind.

Schlüsselworte: Los Millares, Kupferzeit, Wasserversorgung, Aquädukt, Quelle, U/Th-Datierung.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente a 15 km al norte de la ciudad portuaria de Almería se encuentra el poblado fortificado de Los Millares, uno de los mayores de la Edad del Cobre en la Península Ibérica. El asentamiento fue excavado por Luis Siret en 1891-1892. En los mapas del Llano de Los Millares de Siret (figs. 1 y 2) se registra una conducción de agua (“conduite” en la figura original de L. Siret) que, al parecer, discurría desde una antigua fuente (“ancienne source”), situada en el exterior del poblado hasta una cisterna (“citerne”), existente en el interior del mismo. L. Siret describió las construcciones hidráulicas con gran precisión:

Al final de la llanura, del lado opuesto a la ciudad, y (a un kilómetro de ésta), se encuentra el emplazamiento de un manantial actualmente agotado: un depósito de toba lo descubre. Entre el manantial y el núcleo principal de la ciudad se aprecian los restos de un conducto de agua. Los pasos están atravesados por acueductos, muros de piedras y de tierra de hasta 2’5 m de altura; el agua los ha empapado y consolidado, transformando la tierra en toba y produciendo cavidades con capas estalagmíticas. La superficie de la planicie está formada por costras calcáreas horizontales: era una de las canteras de piedra de los habitantes de la ciudad; pero en todo el recorrido del conducto de agua, se ha respetado la piedra, produciendo así cordones en relieve; en ocasiones éstos han sido consolidados por la mampostería de piedras y de tierra, transformada en toba por los rezumamientos; en otros lugares se aprecian piedras puestas de pie que constituyen el canal; finalmente, en todo el trayecto se recogen conchas de moluscos, sobre todo Melanópsides. La pendiente general es de 2 p.c. Al entrar a la ciudad el conducto parece subdividirse y terminar en lo que nosotros creemos era un aljibe, al igual que en todas las ciudades prehistóricas, romanas y árabes” (Siret, 1893:196-197; véase también Siret, 1892:164).

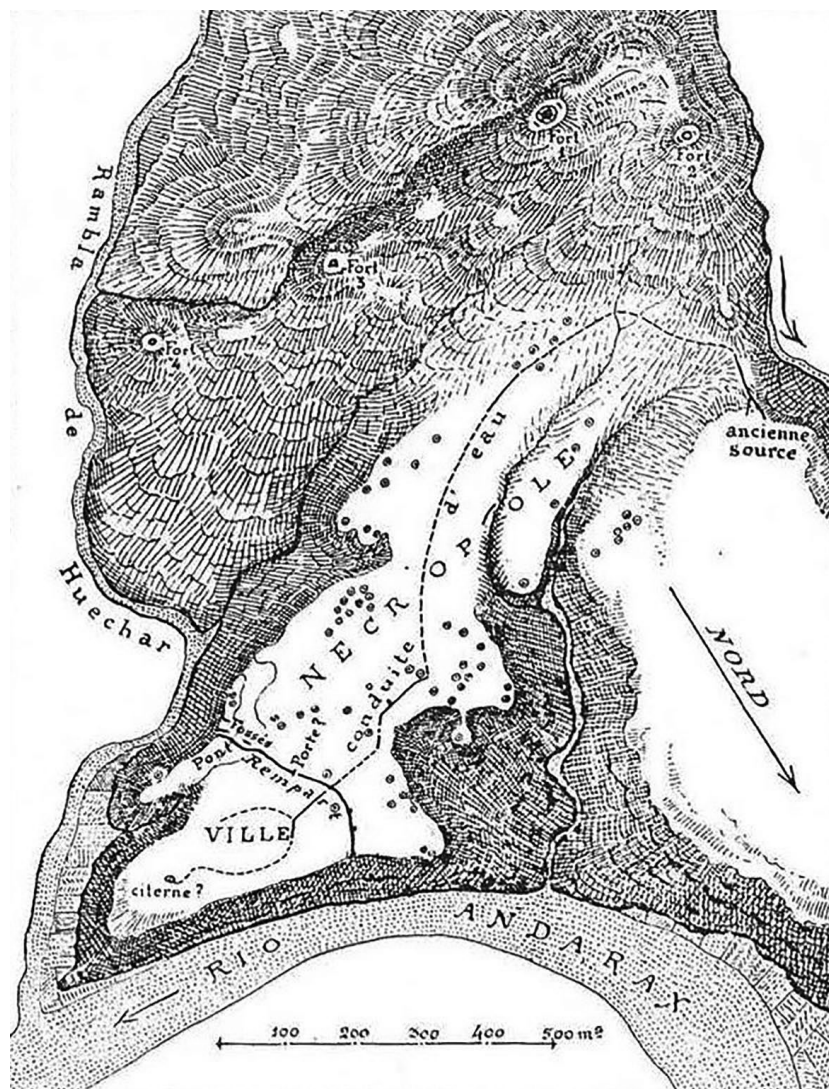


Fig. 1.—Mapa de Los Millares de Luis Siret con las construcciones para la captación, el transporte y la distribución del agua al poblado (fuente: Siret 1893:518 fig. 168).

Gracias sobre todo a las excavaciones de Antonio Arribas (1953 a 1958) y Fernando Molina (1978 a 1991), hoy en día se hallan excavadas y consolidadas algunas partes del yacimiento. De las instalaciones para la conducción y suministro de agua al poblado, se han estudiado un posible paso en la muralla exterior o muralla I, unos cimientos fuertemente compactados por varias capas estalagmíticas entre las murallas I y II y cuatro posibles depósitos situados en la muralla I (exterior) y en el interior de las murallas III y IV.

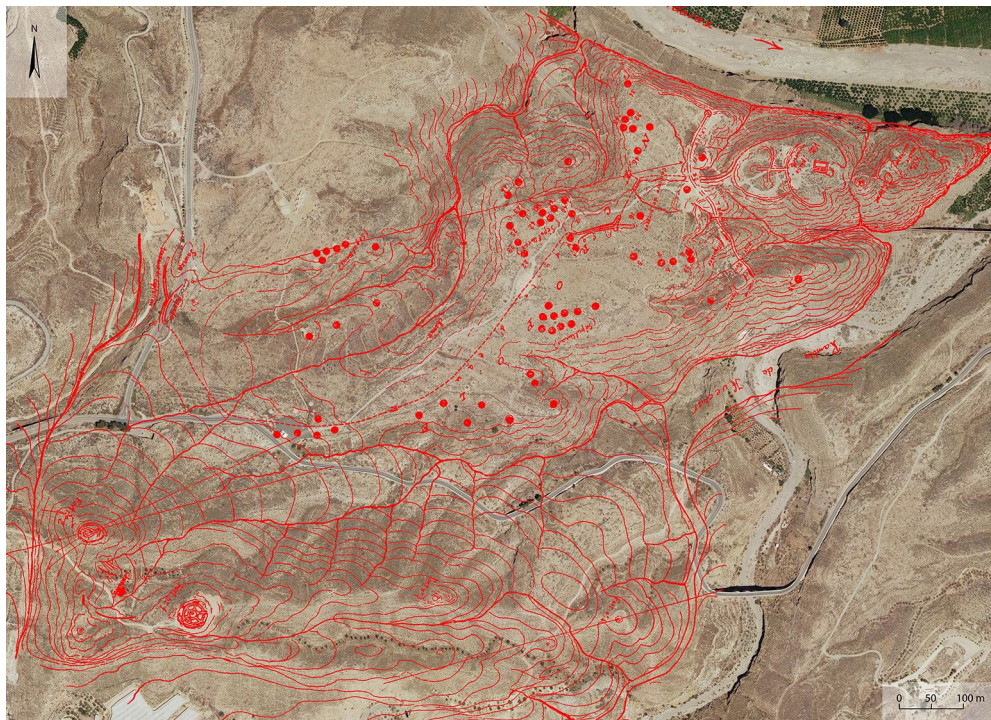


Fig. 2.—Mapa de Los Millares de Luis Siret con las construcciones para la captación, el transporte y la distribución del agua al poblado (fuente: Almagro Basch y Arribas Palau 1963:fig. 3, ortofotografía: © Instituto Geográfico Nacional de España, acceso: 06.11.2017). Figura en color en la edición electrónica.

Hasta ahora no se habían podido obtener pruebas arqueométricas precisas acerca de las construcciones de captación, transporte y distribución del agua al poblado descritas por Siret, si exceptuamos la realización de un muestreo mediante análisis de isótopos estables $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ sobre los travertinos del tramo situado entre las murallas I y II, que demostró la existencia de condiciones ambientales ligeramente más húmedas a las actuales durante el tiempo en que supuestamente se utilizaron estos restos constructivos como parte de una conducción de agua (Capel *et.al.*, 1998). A fin de conseguir dataciones temporales sobre las instalaciones para la conducción y el suministro de agua a Los Millares y, eventualmente, también para reconstruir el recorrido del acueducto y la ubicación de la construcción o construcciones para la captación del agua subterránea, fue necesario realizar diversos estudios científicos. Utilizando la información topográfica, hidrológica, geológica e hidrogeológica, se han deducido y resumido las posibilidades generales de extracción del agua subterránea en esta área de la cuenca del río Andarax.

A partir de los trabajos preparatorios se llevaron a cabo prospecciones arqueológicas e hidrogeológicas en un intento de definir los tramos de la canalización en el interior y en el exterior del recinto fortificado, así como de la instalación o

instalaciones para la captación del agua subterránea. Tanto en el poblado como en los alrededores se revisaron y documentaron los cimientos de la conducción descritos por Siret, y se buscaron los posibles puntos de antiguas surgencias, tomando y analizando muestras de los depósitos correspondientes.

Se obtuvieron muestras de las capas estalagmíticas y se analizaron con el método $^{230}\text{Th}/\text{U}$ e isótopo Sr, a fin de obtener información sobre la edad y el origen del agua transportada en el acueducto. El método y los resultados de los análisis de $^{230}\text{Th}/\text{U}$ para la datación de las precipitaciones se describen a continuación. Los resultados de los análisis de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para determinar el origen del agua se presentan en Jakowski (en prensa).

Situación del medio natural

Por regla general, en el abastecimiento de agua a un asentamiento intervienen los siguientes factores: la situación geográfica, el clima, la estructura geológica e hidrogeológica del subsuelo y las posibilidades técnicas del aprovechamiento del agua.

Situación geográfica y condiciones morfológicas

El Llano de Los Millares es una superficie morfo-sedimentaria a una cota media de 260 msnm, delimitada al norte por el río Andarax, que fluye a una altura de aprox. 190 msnm. Otros límites son al oeste, un pequeño barranco que desemboca en el río Andarax, al este, la Rambla de Huéchar, y al sur, los montes de La Merina (340 msnm). El relieve más cercano, la Sierra de Gádor, con altitudes de hasta 2.249 msnm, conecta morfológicamente al suroeste del Llano de Los Millares a través de la plataforma travertínica de Alhama. Al otro lado de la depresión del Andarax se sitúan al oeste Sierra Nevada, al norte la Sierra de los Filabres y al este Sierra Alhamilla. Los Millares se sitúa en la red de drenaje del cauce inferior del río Andarax y su distancia a la costa mediterránea es de tan solo unos 16 km.

Características geológicas e hidrogeológicas

Por debajo de Los Millares discurre el cauce del río Andarax relleno con una capa de unos 20 a 30 m de espesor de arenas y gravas aluviales holocenas muy porosas con una matriz arenosa. Estas forman un acuífero muy permeable y productivo.

En el Llano de Los Millares afloran conglomerados de cantos angulosos a subangulosos en una matriz arcillo-arenosa del Pliocuaternario, con una potencia de 40 metros o más (IGME, 1978a:21). Las costras calcáreas que aparecen recubriendo en parte los conglomerados se atribuyen al Pleistoceno y surgieron en “un clima cálido y algo húmedo” (IGME, 1978b:35). Estos conglomerados, más o

menos cementados, con gravas, limos arenosos y algunos niveles limo-arcillosos, forman un acuífero común con el relleno aluvial reciente del valle. El sentido del flujo discurre de oeste a este hacia el río Andarax, que desempeña la función de cauce de drenaje para las aguas subterráneas próximas a la superficie.

En el borde occidental de la meseta de Los Millares, por encima de los conglomerados, afloran tobas calcáreas y travertinos de 2 a 8 m de espesor. Presentan intercalaciones de limos, caracoles de agua dulce y restos o huellas de plantas, originadas por precipitaciones de carbonato cálcico en manantiales antiguos (IGME, 1978a:22; Lozano Rodríguez *et al.*, 2010:287). El conjunto travertínico de Alhama de Almería se atribuye al periodo entre el Pleistoceno Medio y Superior, como lo han confirmado los estudios realizados sobre la datación (*v. infra*). Dependiendo del nivel del agua subterránea descargada en el borde de Sierra de Gádor y de la captada sobre esta plataforma carbonatada, los travertinos transmiten el agua a través de su porosidad y de las grietas por fisuración y carstificación, drenando en los mencionados acuíferos de rocas clásticas.

Más al oeste, las calizas y dolomias triásicas, con espesores superiores a los 500 m, forman el extenso acuífero de la Sierra de Gádor, sellado inferiormente por las filitas permotriásicas, siendo sus aguas subterráneas bombeadas hoy desde grandes profundidades. Este acuífero es muy relevante para Los Millares porque es el que regula las principales surgencias del área. Debido a una anomalía geotérmica, en estas fallas del borde oriental de Gádor emergen aguas termales (Pulido *et al.*, 2008: fig. 1). En la cercana zona de Alhama de Almería, estas aguas tienen solo una ligera mineralización pero en cambio alcanzan una temperatura de aproximadamente 40°C (Sánchez *et al.*, 2004:171).

Niveles de las aguas subterráneas en la Edad del Cobre

Las formaciones permeables e impermeables descritas funcionaban en la Edad del Cobre lo mismo que en la actualidad. Sin embargo, el nivel de las aguas subterráneas en estos materiales y, por tanto, la posibilidad de su aprovechamiento dependen también de diversos factores climáticos y morfológicos que pueden haber cambiado en el curso de los últimos cinco mil años. La altura del nivel del mar, al que se dirigen las aguas superficiales y las aguas subterráneas próximas a la superficie desempeña un papel importante. Según las investigaciones de Goy *et al.* (2003:263) en depósitos de playa del Campo de Dalías (Almería), hacia el año 3.400 a.C., el nivel del agua del mar en la zona de Almería era unos 80 cm más alto que el actual y hasta el año 2.200 a.C. había descendido unos 60 cm.

Según W. Schüle (1980:12-13), en la Prehistoria, el río Andarax era navegable hasta aprox. 5-10 km aguas abajo de Los Millares y para A. Arribas y F. Molina (1982:9) la línea de costa se situaba a unos 10 km al sur de Los Millares. Como consecuencia de las precipitaciones torrenciales a principios de la Edad Moderna, la llanura de inundación del río Andarax se rellenó de grava y detritus y desde entonces esto ha provocado una subida del lecho del río (Hoffmann, 1988:121-

122). En un sondeo de 26 m de profundidad realizado en el delta del río Andarax se atravesaron 20 m de grava y roca fragmentada depositados sobre 6 m de arenas finas marinas (Hoffmann, 1988:18/155). En la zona de Los Millares hay que contar también con una colmatación importante del lecho del río en los últimos milenios. En las laderas del valle este fenómeno ha podido repercutir en la distancia relativa entre las aguas subterráneas y la superficie del terreno. Es posible que en la Edad del Cobre el nivel estático del agua subterránea próxima a la superficie estuviera condicionado, en la zona del poblado, por un drenaje hacia el cauce del río Andarax, situado a mayor profundidad que en la actualidad.

En el nivel del agua subterránea influye la relación entre las precipitaciones, la escorrentía-infiltración y la evaporación. Un clima un poco más húmedo que el actual, como señalan F. Molina *et al.* (2004:144-145) y F. Molina y J.A. Cámara (2010:61) para la Edad del Cobre, probablemente provocó que el nivel medio del agua subterránea fuera más alto que el actual. No obstante, ante la información actual disponible no es posible afirmarlo con certeza.

Precipitaciones de carbonato en puntos de surgencias y acueductos

Sürmelihindi (2013:15-17) ha descrito los procesos químicos que intervienen en la formación de concreciones de carbonato cálcico en los acueductos: el agua subterránea se forma por filtración de precipitaciones. En su recorrido a través de la zona de suelo orgánico, el agua infiltrada se enriquece con dióxido de carbono debido al aumento de la presión, formándose ácido carbónico. El agua subterránea es así capaz de disolver el carbonato cálcico presente en el suelo. Este proceso se prolonga hasta que se establece un equilibrio entre los componentes individuales (el llamado equilibrio carbonato cálcico-ácido carbónico). Cuando el agua subterránea aflora en un manantial, las condiciones de presión cambian, y se libera dióxido de carbono. El carbonato cálcico precipita hasta que se establece de nuevo el equilibrio carbonato cálcico-ácido carbónico entre los componentes individuales. Si en el punto de emergencia el agua está hiperacidificada y no se encuentra en el citado equilibrio, el proceso de precipitación del carbonato cálcico se desplaza. La formación de acumulaciones de carbonato cálcico comienza con retraso en las zonas del acueducto más alejadas del manantial.

Junto a la saturación del carbonato cálcico, la temperatura, las condiciones de flujo y el caudal influyen en la cantidad de precipitación de carbonato cálcico que se forme. Al aumentar la temperatura, se libera más dióxido de carbono y aumenta la precipitación del carbonato cálcico. Las turbulencias favorecen la liberación de dióxido de carbono y con ello también una mayor precipitación del carbonato cálcico. Esto explica, por ejemplo, que en el agua que gotea se produzca mayor turbulencia y desgasificación y, como resultado, precipitación del carbonato cálcico. Y, por último, cuanto más agua saturada en carbonato fluya por el acueducto, tanto más intensa será la precipitación del carbonato cálcico.

Hallazgos de las construcciones para el suministro de agua

Informaciones de las instalaciones para la conducción y la distribución de agua al poblado que se han conservado, se puede encontrar en diversas publicaciones. La presente publicación muestra una sinopsis de todas las secciones, fotografiadas y medidas. La figura 13 recoge una comparación de la topometría actual con el mapa de Siret, publicado en Almagro y Arribas (1963:fig. 3).

Tramo 1 del acueducto en el interior del recinto fortificado

En la zona de la muralla exterior hay una estructura de mampostería de un cuarto de círculo, desde la que dos hileras rectas de piedras conducen diagonalmente hacia el interior del muro (fig. 3). Debido a la evidente orientación de este



Fig. 3.—Tramo 1 de los cimientos del acueducto: planta. Figura en color en la edición electrónica.

resto de muralla hacia el tramo de cimientos fuertemente compactados del interior del asentamiento (*v. infra*), Arribas *et al.* (1987:250 s.) supusieron que ese era el lugar donde el acueducto de Siret entraba en la fortaleza. A pesar de una búsqueda intensiva en el marco de la prospección actual, no se han observado cementaciones carbonatadas estalagmíticas en los restos originales de la parte inferior de la muralla que hubieran podido aportar algún indicio de la posibilidad de que el agua fluyera originalmente por este resto de muralla.

Tramos 2 y 3 del acueducto en el interior del recinto fortificado

En los restos de los cimientos de un muro que discurren de este a oeste entre la muralla exterior y la segunda muralla del poblado se han encontrado, sin embargo, numerosas precipitaciones de capas estalagmíticas de diferentes tamaños y formas (fig. 4). Dichos cimientos figuran en los planos de Siret (fig. 1 y 2). Al igual que ya pensó en su día L. Siret, también en la actualidad se considera la zona clave para indicar la existencia de un acueducto en Los Millares (Arribas *et al.* 1987:251).

Al este del tramo 2 del acueducto existe otro pequeño resto de cimientos con capas estalagmíticas evidentes (fig. 7).

Corte rellenado en el interior del recinto fortificado

En el transcurso de las excavaciones de los años 1953-1958 se practicó, entre otros, el corte n.º 3 entre la primera y la segunda muralla. El corte discurría paralelo a los ya mencionados restos calcificados, continuando en dirección a la segunda línea de murallas. Según información verbal de Fernando Molina (23.11.2018), en los extremos de dicha estructura se sacaron a la luz muros de casas de la Edad del Cobre superpuestos a un tramo del acueducto con capas estalagmíticas. El corte era muy profundo y volvió a rellenarse en los años 80. No obstante, todavía puede verse en la lám. V de la publicación de M. Almagro y A. Arribas (1963:272), así como en la vista aérea que se incluye en Arribas *et al.* (1983:183, lám. I).

Recorrido del acueducto fuera del recinto fortificado

En el exterior de la fortaleza, Siret identificó otros cuatro tramos de la conducción de agua, que representó con líneas continuas. Dichos tramos son todavía visibles sobre el terreno, por lo que se procedió a medirlos (fig. 13).

En la zona vallada del enclave arqueológico se encuentran diversos tramos, principalmente en dirección O-E a SO-NE. Son alineaciones de bancos de rocas, de las que una mide aproximadamente 90 m de largo y entre 2 a 12 m de ancho, y otras de 10 a 30 m de largo y 2 a 4 m de ancho, respectivamente. Al parecer, fueron abiertos en el pasado, es decir, se retiraron piedras en ambos lados, aunque no está



Fig. 4.—Capas estalagmíticas en los cimientos del acueducto de Los Millares, tramo 2: a) fragmento de cerámica calcolítico, de datación imprecisa, junto a una acumulación de carbonato cálcico plana vertical de color negro parduzco (muestra LM9); b) acumulación de carbonato cálcico horizontal y vertical; c) pequeña estalactita (muestra LM8).

Figura en color en la edición electrónica.

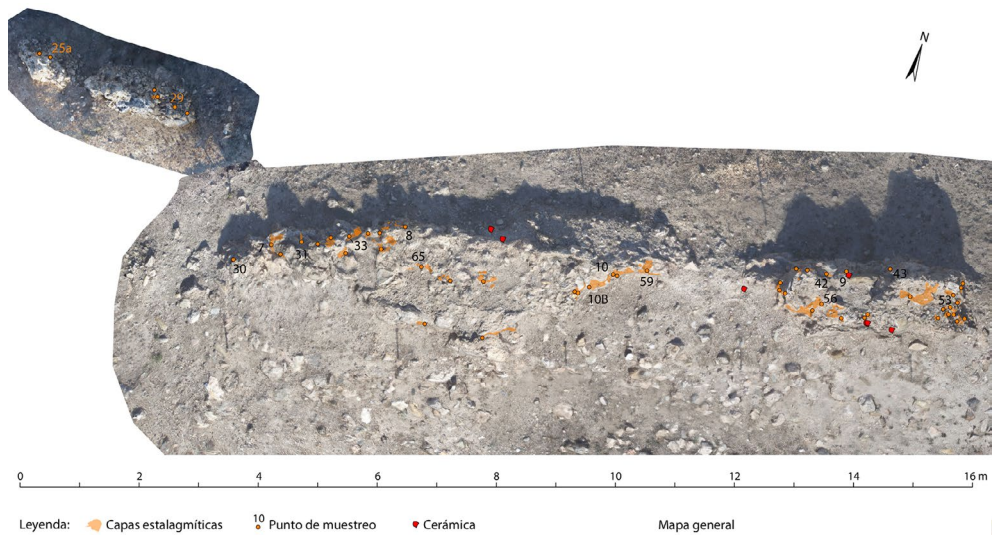


Fig. 5.—Tramo 2 y tramo 2 —2.^a parte— de los cimientos del acueducto: planta con capas estalagmíticas y puntos de muestreo. Figura en color en la edición electrónica.

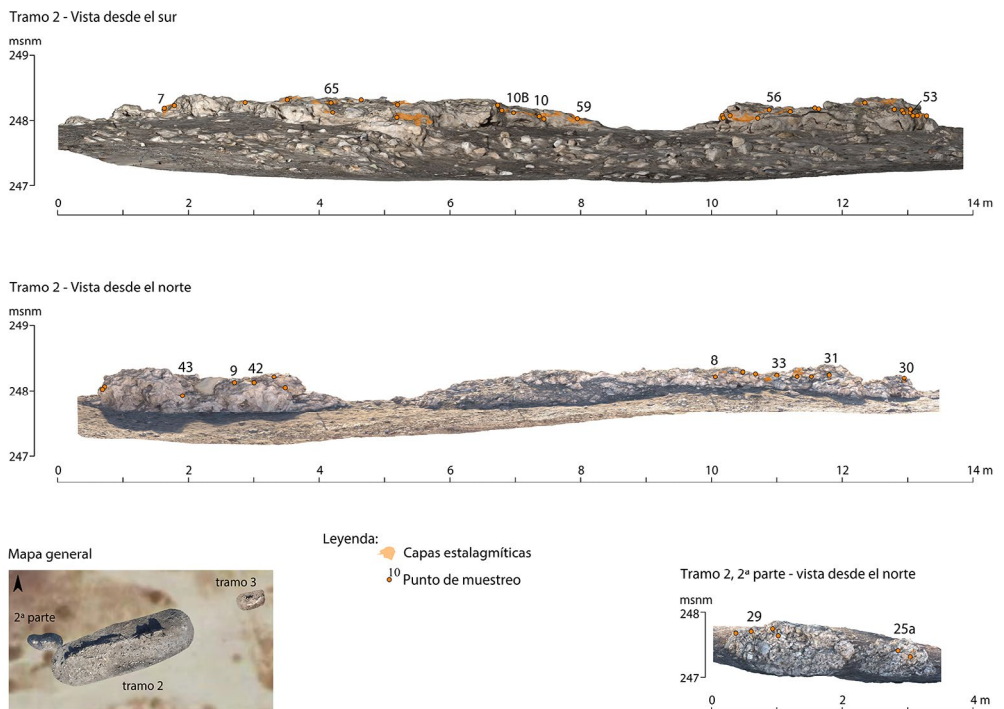


Fig. 6.—Tramo 2 y tramo 2 —2.^a parte— de los cimientos del acueducto: vistas desde el sur y el norte con capas estalagmíticas y puntos de muestreo. Figura en color en la edición electrónica.

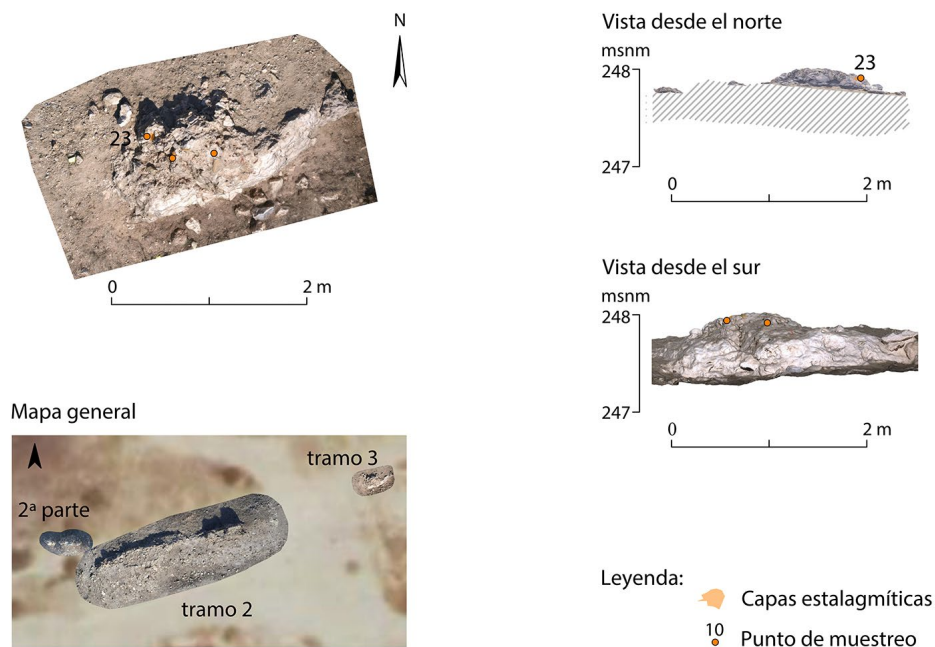


Fig. 7.—Tramo 3 de los cimientos del acueducto: planta con capas estalagmíticas y puntos de muestreo. Figura en color en la edición electrónica.

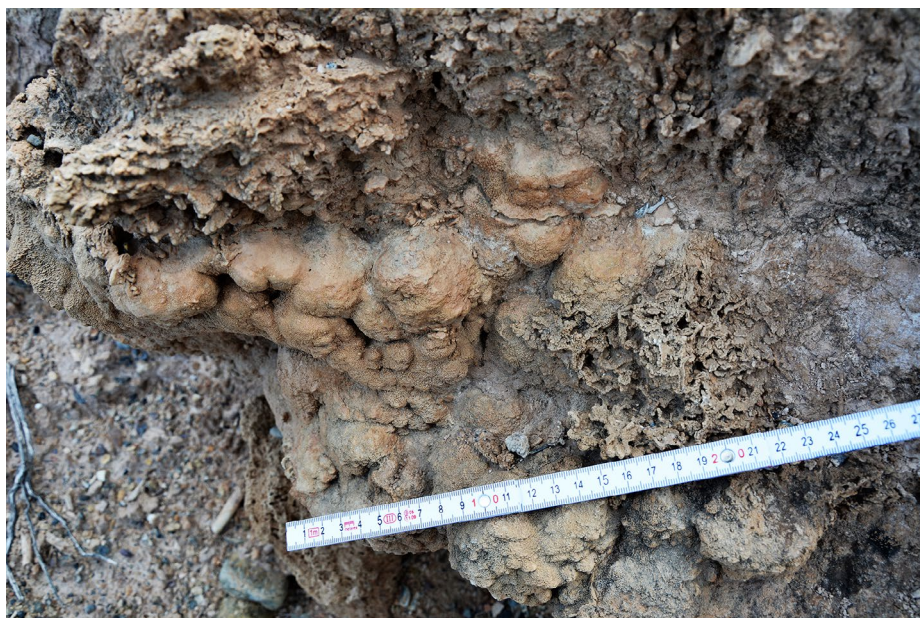


Fig. 8.—Afloramiento D – sector de la fuente dibujada por L- Siret (muestra LM15). Figura en color en la edición electrónica.

claro si esta operación se llevó a cabo en la Edad del Cobre. A pesar de la búsqueda intensiva en las prospecciones actuales no se han encontrado ni precipitaciones carbonatadas ni otros indicios del acueducto, por lo que hoy en día no es posible corroborar la atribución de Siret.

A unos 800 m al oeste del asentamiento se encuentra otro tramo del acueducto identificado por Siret fuera de la fortaleza. Allí también supuso que se hallaba el punto de surgencia del manantial en la Edad del Cobre (fig. 8 y fig. 13). Hoy en día, dicho punto se encuentra en la zona de la carretera actual a Santa Fe de Mondújar. Durante las prospecciones en esta zona se identificaron tobas calcáreas, que aquí se intercalan con los conglomerados pleistocenos.

Asimismo, en el interior o en las inmediaciones del recinto fortificado existen cuatro cisternas (v. fig. 13):

Balsa en el exterior de la primera muralla

Tanto G. Martínez y J.A. Afonso (2003:97) como Molina y Cámara (2005:40), mencionan la existencia de una depresión en el exterior de la primera muralla, situada en el lado izquierdo directamente delante de la puerta principal. Según información verbal de Fernando Molina y Gabriel Martínez (23.11.2018), debido al material arenoso y a los restos vegetales del suelo hallados en la excavación este lugar pudo ser utilizado durante la Edad del Cobre como abrevadero situado delante de la puerta principal. El hallazgo se volvió a rellenar después de la excavación.

Cisterna en el interior de la primera muralla

En el bastión VIII de la muralla exterior, durante la excavación se puso asimismo al descubierto una fosa de almacenamiento acampanada de 3 m de profundidad y 2 m de ancho en la base y 0,8 m de ancho en el borde superior. Estaba tapada con una plancha de pizarra (Arribas *et al.*, 1981:95). Por la existencia de “una gruesa capa de revoco de barro” en las paredes se interpretó como “cisterna para almacenamiento de agua” (Arribas *et al.*, 1981:95). También este hallazgo se rellenó de nuevo después de la excavación.

Cisterna en el interior de la tercera muralla

En 1981 se documentó “un profundo silo o cisterna que cortaba la roca” (Arribas *et al.*, 1983:131). Dicha estructura, de forma acampanada, fue localizada en las excavaciones de Almagro y Arribas y marcada como “silo” en el plano publicado por estos investigadores (Almagro y Arribas, 1963:lám. 5). Según información verbal de Francisco Carrión (23.02.2017), el diámetro de la cisterna en el suelo es de aproximadamente 4 m por unos 80 cm en la boca. Según información del

arqueólogo, la cisterna se había excavado directamente en el lecho de roca. No se pudo documentar la existencia de mampostería, pero al parecer se utilizó un material cohesivo como sellado.

Gran depósito de agua dentro de la ciudadela

Dentro de la cuarta muralla, la más interior, existe una cavidad ovalada de aprox. 47 m de largo y 30 m de ancho, que Siret interpretó ya como cisterna (v. *supra*). En las excavaciones de los años 80 y 90 no se ha investigado este lugar. Tampoco existe ninguna documentación sobre el pequeño corte practicado probablemente en los años 50 del siglo pasado en la parte más profunda del presunto depósito de agua.

La medición actual del interior escalonado (fig. 9) reveló que, en el sureste, la cavidad cuenta con un rebosadero. Este elemento habría sido indispensable para poder evacuar el exceso de agua permanentemente afuera del poblado. Sin embargo, hasta que no se estudie en futuras excavaciones no contamos con ninguna evidencia arqueológica del mismo.

Para estimar el volumen del presunto depósito de agua, se realizó un perfil longitudinal y otro transversal. El nivel máximo de agua se estableció a la altura del rebosadero, resultando un volumen de aprox. 270 m³. Debe asumirse que el posible depósito de agua era originalmente aún más profundo, ya que el suelo está ahora cubierto de detritus y bloques de roca.

Cisterna del Fortín 1

En aras de la integridad hay que mencionar también que en el interior del Fortín 1 se descubrió, asimismo, una “cisterna” (Molina y Cámara, 2005:66, fotografía inferior). Como tal ha sido interpretada (Molina 1989:212) la fosa delimitada por muros, que alcanza unas dimensiones de 2 m de diámetro y 3 m de profundidad (v. fig. 13).

RESULTADOS DE LA PROSPECCIÓN

Evaluación de la descripción del acueducto de Siret

Si se lee la descripción de Siret con una mirada crítica ante el trasfondo de que al oeste del Llano de Los Millares se encuentra el conjunto travertínico de Alhama de Almería, compuesto por varios metros de travertinos y tobas calcáreas, existen explicaciones más plausibles que las propuestas por el investigador belga (Siret, 1893:196) para esclarecer la presencia de las tobas en la planicie de Los Millares (v. *supra*). De un lado, es posible que algunos bloques sueltos del travertino situado

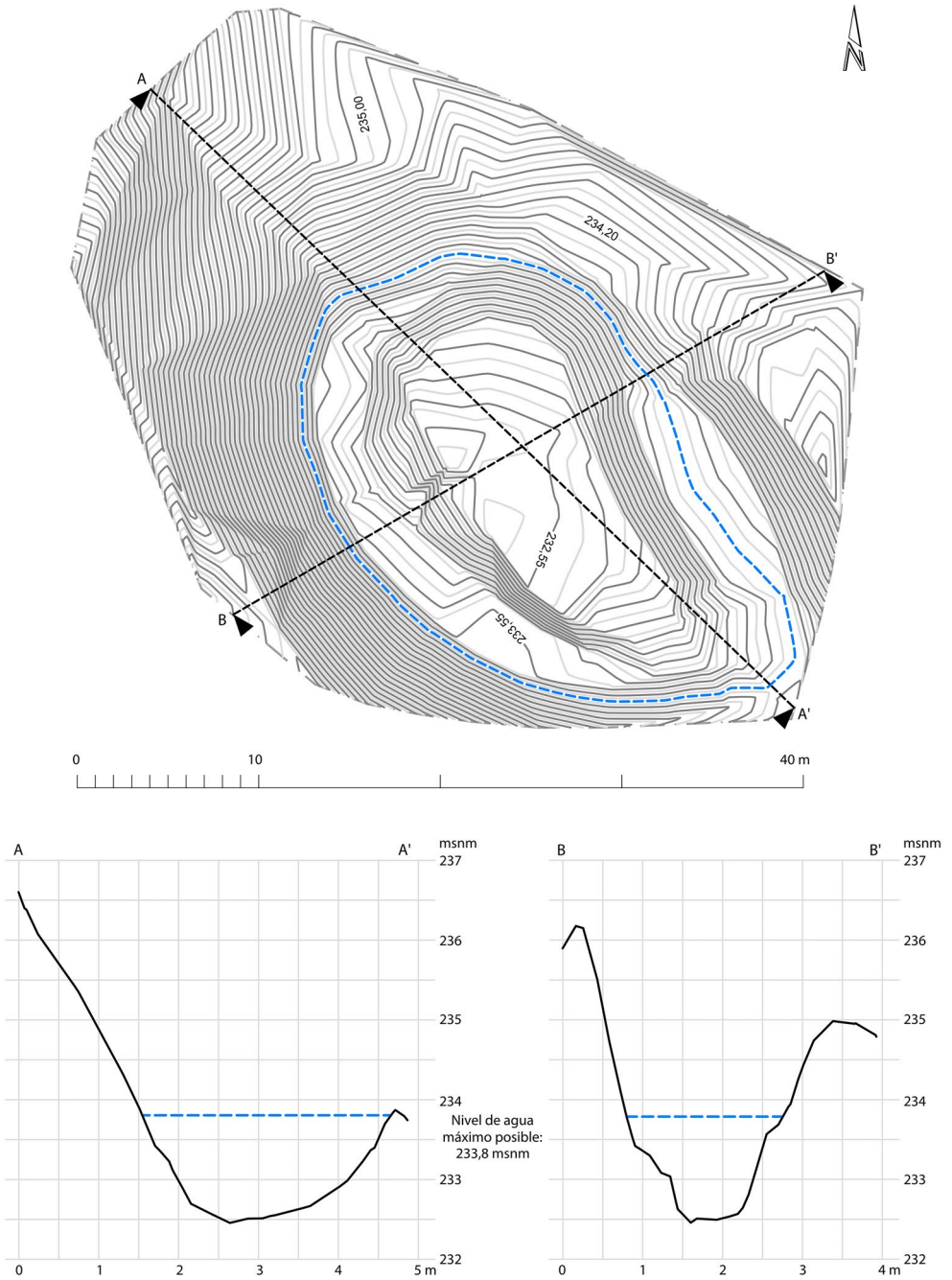


Fig. 9.—Presunto depósito de agua en el interior de la cuarta muralla: planta y perfiles.
 Figura en color en la edición electrónica.

al oeste llegaran al este debido a procesos erosivos y por la pendiente morfológica; por otro lado, también cabe pensar que las tobas fueron extraídas y transportadas como material de construcción al Llano de Los Millares, pues una toba no es el resultado de procesos de descomposición secundarios, como las describió Siret. Por este motivo, las tobas calcáreas no son una prueba directa de la existencia de un acueducto. Asimismo, los *melanópsides* (Siret 1893:197), mencionados por Siret y que él consideraba indicadores del acueducto, son gasterópodos de agua dulce que existen desde el Cretáceo Superior y que abundan particularmente en los afloramientos travertínicos pleistocenos situados al este del Llano de Los Millares.

Tan solo las capas estalagmíticas descritas por Siret (1893:196) apuntan a la existencia de un acueducto (fig. 4). Las capas estalagmíticas de los tramos 2 y 3 evidencian claramente que el agua fluyó aquí de manera continuada, originando precipitaciones laminares sucesivas de carbonato cálcico como consecuencia del cambio de las condiciones de presión y temperatura. Pero es necesario verificar cuándo se formaron.

Estas precipitaciones se encuentran a distintas alturas en los cimientos porque cuando fluía, el agua goteaba en las zonas más permeables o fisuradas de la estructura, percolando a través de ella. Por lo tanto, no es posible deducir una correlación estratigráfica vertical.

Posibilidades de captación del agua en el entorno de Los Millares

De la situación del medio natural descrita resulta el siguiente cuadro sobre las posibilidades de captación del agua en la Edad del Cobre.

La posibilidad más obvia sería la **extracción de agua del río Andarax**, que desempeña la función de cauce de drenaje del agua subterránea próxima a la superficie. En la Edad del Cobre, el suministro de agua potable al asentamiento de Los Millares desde el río Andarax era, en general, posible. Sin embargo, debido a la diferencia de altitud entre el cauce aluvial y el poblado, en la actualidad de unos 70 m y en la Edad del Cobre aún mayor, sería una operación difícil y laboriosa y, por tanto, poco probable.

Otra posibilidad sería **excavar un pozo** en el asentamiento o en el Llano de Los Millares. En la Edad del Cobre, estas construcciones eran ya conocidas en la península ibérica, como se observa en El Jadramil (provincia de Cádiz). Allí Lazarich González (2003:130-135) interpreta once pozos de 4 a 9 m de profundidad como pozos de suministro (Kunst, 2010:123-124). En el Llano de Los Millares, el alumbramiento mediante un pozo habría tenido que ser excavado al menos hasta el nivel del valle sobre los conglomerados pliocuaternarios con más de 70 m. Implicaba un riesgo muy alto, por lo que también puede considerarse una solución improbable. Tanto en términos de esfuerzo como de posibilidades de éxito, la captación de agua subterránea en estos conglomerados consolidados, donde la transmisividad funciona principalmente a través de la fisuración, resulta sin duda más difícil que en sedimentos sueltos o poco cementados.

El 29.06.2018, el nivel estático del agua subterránea en el pozo de 18 m de profundidad (IGME n.º 2343-1-0018) de la Rambla de Huéchar, situado cerca del poblado fortificado, era de 185 msnm. Estimando que el borde superior del terreno en la zona de la muralla más interior estaría a 258 msnm, hoy en día habría que excavar un pozo de 73 m para alcanzar el nivel mencionado. Además en un pozo destinado a la captación de agua, habría que profundizar algunos metros en el acuífero. Ello significa que, incluso en su parte sureste, es decir, en la parte más baja del recinto fortificado, habría que excavar un pozo de 70 a 80 m de profundidad. Conforme al estado actual de los conocimientos, esta forma de captación del agua subterránea para el asentamiento sería muy improbable.

Otra posibilidad de extracción, y quizá la más probable, es la **captación de un manantial** cerca del asentamiento, que ya fue considerada por Siret. En la medida en que la posible fuente fuera un manantial inferior, el agua subterránea podría surgir libremente en el contacto de un estrato en el borde del valle y haber aflorado junto al cauce del río Andarax alimentándolo. Dependiendo de las condiciones climáticas durante la Edad del Cobre, podrían haber existido varios manantiales, pero también en ese caso cabe aplicar las mismas consideraciones que para la extracción de agua del río, es decir, el transporte del agua desde el valle hacia arriba resultaría difícil y complicado.

Sin embargo, el manantial surgente también podría haber estado situado en el borde del Llano de Los Millares y haber aflorado como una surgencia de fractura en los conglomerados del plio-cuaternario o en los travertinos pleistocenos. En tal caso, la zona de captación se habría extendido hacia el oeste. Debido a las mencionadas incertidumbres en lo que atañe a las condiciones del nivel del agua subterránea en la Edad del Cobre, no se puede aportar ningún dato sobre la posible altitud del manantial, lo que habría facilitado en gran medida la prospección hidrogeológica.

Con todo, si la posible fuente de aporte del agua subterránea fuera un manantial en carga, en el que el agua subterránea asciende por una falla desde un nivel más profundo, por efecto de la presión confinante, como sucede en el caso del manantial termal de Alhama de Almería, el punto de emergencia no tendría por qué hallarse necesariamente en el borde de la meseta de Los Millares.

Sobre la base de las condiciones geológicas e hidrogeológicas y de la presunción de que el acueducto era una conducción a través de la cual el agua llegaba al asentamiento por gravedad, el manantial que lo alimentaba se buscó en los afloramientos travertínicos que bordean el Llano de Los Millares por el suroeste y con una cota topográfica de surgencia para poder ser canalizada.

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EDAD

Puntos de muestreo

Se tomaron 57 muestras muy pequeñas (unos pocos mm de ancho) de todas las capas estalagmíticas procedentes de los cimientos del acueducto situados en

el interior del recinto fortificado. Se realizó un modelo tridimensional de la parte central de los cimientos del acueducto a fin de obtener documentación exacta del hallazgo y los puntos de muestreo. En las figuras 5 a 7 se han marcado todos los depósitos calcínicos de los tramos 2 y 3, con los puntos de las muestras analizadas hasta ahora.

De las tobas calcáreas en el hinterland de Los Millares se tomaron muestras a fin de determinar si las calizas se formaron en el Pleistoceno o durante la Edad del Cobre. Fueron ocho posibles puntos de surgencia antiguos, de la A a la H, allí donde las tobas calcáreas y las capas travertínicas y estalagmíticas indican la presencia de flujos de agua en el pasado (fig. 12). En la zona donde Siret supuso que se encontraría la salida del manantial (afloramientos D y E) se descubrieron tobas calcáreas con concreciones de carbonato cálcico y restos de plantas calcificadas. Las texturas de las precipitaciones de los carbonatos tampoco se correspondían con las de las capas estalagmíticas muestreadas en Los Millares. Estas tobas calcáreas fueron muestreadas para determinar si se originaron durante el Pleistoceno o en la Edad del Cobre.

El afloramiento F, situado en el borde superior del pequeño barranco que delimita el Llano de Los Millares por el oeste, justo por debajo del puente de la carretera (fig. 10), reviste un especial interés. Sorprende por la existencia de un canal más reciente de paredes lisas de unos 37 cm de ancho. A la izquierda se ha tendido una moderna tubería de agua PE DN 125 con un diámetro exterior de 140 mm. A la derecha, hay otro canal de aprox. 17 cm de ancho, tallado en capas estalagmíticas, cuya textura se corresponde con las capas estalagmíticas de Los Millares.

A pocos metros del afloramiento F, en un bloque basculado, hay un paquete grueso de tobas calcáreas (afloramiento G). No se ha establecido ninguna relación entre este afloramiento y las precipitaciones carbonatadas del acueducto, porque las características texturales entre estas calizas difieren notablemente.

Análisis de materiales

Se han realizados análisis de $^{230}\text{Th}/\text{U}$ para la datación de las capas estalagmíticas de los cimientos del acueducto y de los posibles manantiales.

En general, la datación por ^{14}C también es posible en el rango de edad de las precipitaciones investigadas. No se llevó a cabo la datación por ^{14}C , ya que la proporción de carbono orgánico en las precipitaciones carbonatadas suele arrojar edades demasiado antiguas (v. por ejemplo Griffiths *et al.*, 2012). No es posible realizar una corrección correspondiente de las muestras actuales, ya que no se puede determinar la proporción de carbono orgánico. En las capas estalagmíticas no se encontró material orgánico sobre el que se pudieran realizar análisis de ^{14}C .

La cadena de desintegración natural del radionucleido ^{238}U , que se compone de 14 nucleidos secuenciales, termina en ^{206}Pb . En la figura 11 está representado el inicio de la cadena de desintegración con los radionucleidos ^{234}U y ^{230}Th , importantes para las determinaciones de la edad por $^{230}\text{Th}/\text{U}$.

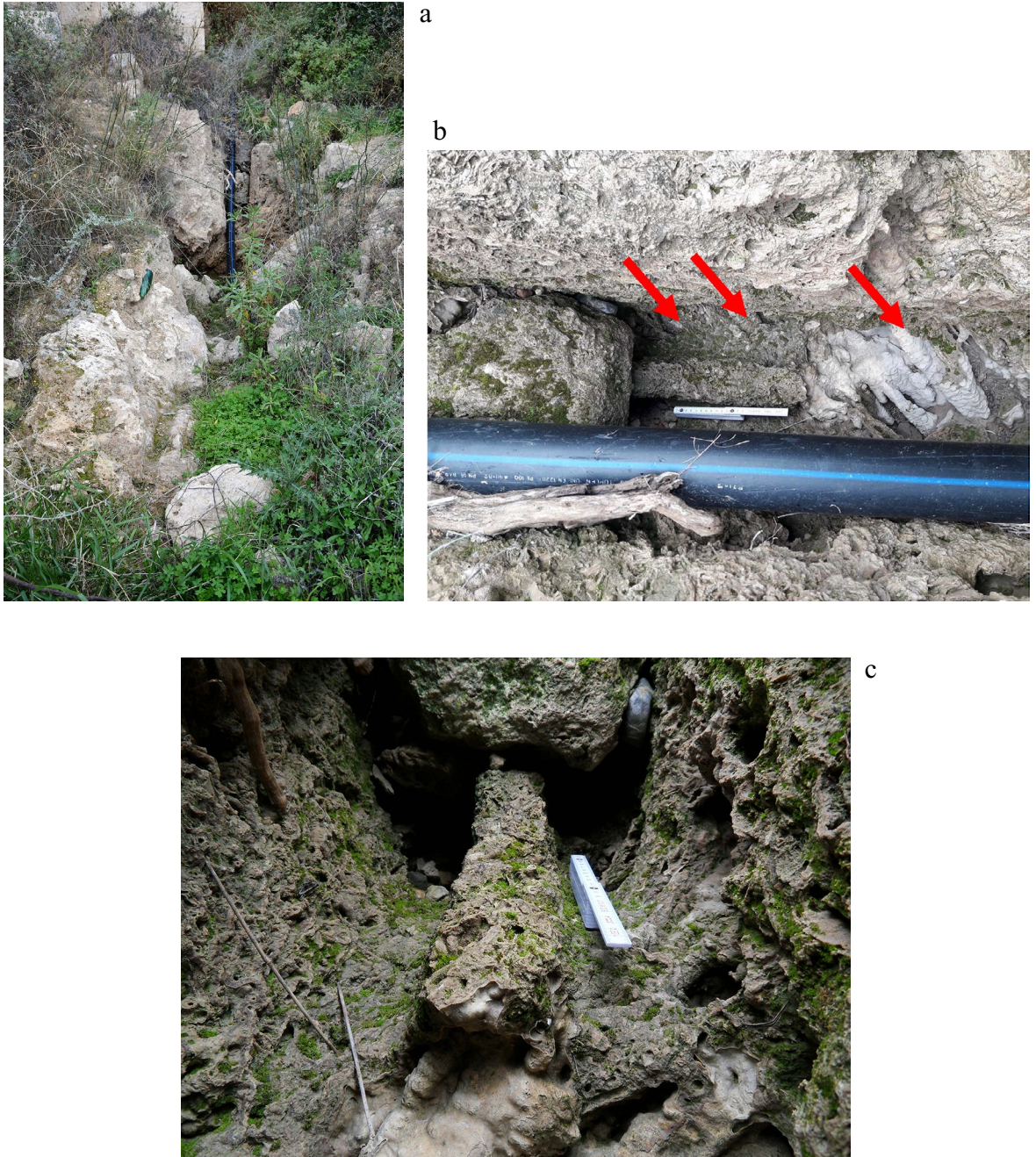


Fig. 10.—Afloramiento F. a) Situado directamente debajo del puente de la carretera A-1075 al norte del cruce con la AL-3411; b) detalle con los lugares de muestreo, vista desde arriba: LM74_B1 (izquierda), LM74_A1 (centro), LM18 (derecha), las flechas señalan el lugar de la toma de las muestras; c) detalle, vista desde el este. Figura en color en la edición electrónica.

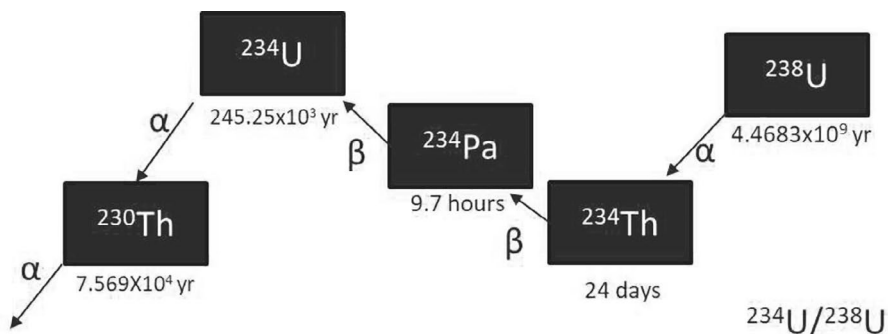


Fig. 11.—Cadena de desintegración ^{238}U a ^{230}Th con indicación de los periodos de la vida media radiactiva (Sabri, 2016:30 fig. 13).

Los métodos de $^{230}\text{Th}/\text{U}$ ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ y $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$) para la determinación de la edad de carbonatos secundarios, como estalactitas y estalagmitas, se basan en que el uranio es soluble en agua bajo condiciones óxicas; por el contrario, el torio no está presente en la solución. Por ello, en el caso de la precipitación de calizas de agua dulce a partir del agua solo se deposita uranio en las redes cristalinas de los carbonatos. Por lo tanto, se genera un desequilibrio radioactivo en el carbonato.

Con la condición previa de que el carbonato envejezca en un sistema cerrado, el uranio depositado en los carbonatos se desintegra. Desde ese instante se forma torio-230, que se deposita en el carbonato. Por ello, a partir de las relaciones medidas de $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ y $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ se puede calcular la edad de la cristalización. Sin embargo, esto solo es válido siempre y cuando en la formación de los depósitos de carbonatos no se produzcan migraciones de los detritus de roca más finos con contenido de torio. Si es necesario, el material detrítico adherido de forma periférica se debe retirar antes de la medición. Durante la medición se mide el ^{232}Th , a fin de determinar la proporción detrítica y corregirla correspondientemente (denominada corrección del torio o detrítico).

Para la determinación de la edad de “carbonatos terrestres como carbonatos en cavidades kársticas, tobas, travertino y creta marina..., así como costras calcáreas edáficas, que se han formado alrededor de los silicatos en terrenos áridos”, el método de $^{230}\text{Th}/\text{U}$ resulta muy fiable (Geyh, 2005:98). Según Frank *et al.* (2002:307), que han usado los métodos de $^{230}\text{Th}/\text{U}$ con éxito para la determinación de la edad en túneles de suministro de agua de la Edad del Bronce en Troya/Ilios, su exactitud depende de que el depósito de carbonato examinado constituya un sistema cerrado, de que el contenido inicial de ^{230}Th sea despreciable y de que no haya contaminaciones debidas a sedimentos con contenido de ^{230}Th , ^{234}U o ^{238}U .

La datación de las muestras de Los Millares, su preparación química, la medición de los isótopos relevantes por espectrometría de masas de acoplamiento inductivo (MC-ICPMS), así como la corrección del torio y el cálculo de las edades, las realizó el Instituto de Física Medioambiental (IUP) de la Universidad de Heidelberg, en el grupo de trabajo del Prof. Norbert Frank.

Las muestras (aproximadamente 100 mg) se prepararon a partir de piezas de mano con una sierra fina, se lixiviaron con 0,5 mol de HNO_3 y se disolvieron en HNO_3 . El uranio y el torio se extrajeron de la muestra disuelta utilizando una resina especial de intercambio iónico DOWEX. El procedimiento de química húmeda, así como los análisis por espectrometría de masas, siguieron los procedimientos de Douville *et al.* (2010), Matos *et al.* (2015), Arps (2017) y Wefing *et al.* (2017). Los ratios de actividad relevantes de uranio y torio se analizaron con un Thermo Fisher Neptune MC-ICPMS. La calibración de la espiga de ^{233}U , ^{236}U y ^{229}Th , utilizada para este fin, se describe en Hoffmann *et al.* (2007). Todas las edades se han calculado utilizando el periodo de semidesintegración de Cheng *et al.* (2000). Las indeterminaciones de edad se indican como valores 2σ y no contienen las indeterminaciones de los periodos de semidesintegración o vida media radiactiva. Las incertidumbres de la edad a partir de la medición son, en promedio, del 0,5% sobre la base de las 30 edades no corregidas.

Las incertidumbres de edad, parcialmente grandes en las edades corregidas, se atribuyen principalmente a contaminaciones con sedimentos finos que contienen torio. Un tercio de las muestras con corrección de Th presentan incertidumbres de edad superiores al 5%. La corrección por impurezas detríticas supone una relación de peso $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ de $3,8 \pm 1,9$ y ^{230}Th , ^{234}U y ^{238}U en equilibrio secular.

RESULTADOS DE LA EDAD DE LAS MUESTRAS

Para los resultados véase la figura 12. En la tabla 1 se han recopilado todos los resultados de los análisis cronológicos del Instituto de Física Medioambiental de la Universidad de Heidelberg, con indicación en cada caso de la doble desviación estándar. Debido a que el material de muestra frecuentemente presentaba solamente unos pocos mm de ancho, solo fue posible realizar una datación por muestra.

Resultados de los análisis en la cimentación del acueducto

Mediante el análisis de 17 de las 57 precipitaciones carbonatadas distribuidas en los cimientos de los tramos 2 y 3 respecto a sus isótopos $^{230}\text{Th}/\text{U}$ se puede delimitar con gran precisión el periodo de tiempo en el que el agua fluyó por esta conducción.

Los análisis dieron como resultado que las capas estalagmíticas de los cimientos del acueducto se originaron en la Edad del Cobre Temprano y Medio entre los años 3.449 a.C. (+/- 92 años) y 2.591 a.C. (+/- 22 años), es decir, en el periodo de tiempo entre el 3.541 y 2.569 a.C., con lo que posiblemente se ha podido aportar la prueba de la conducción de agua más antigua de la Península Ibérica.

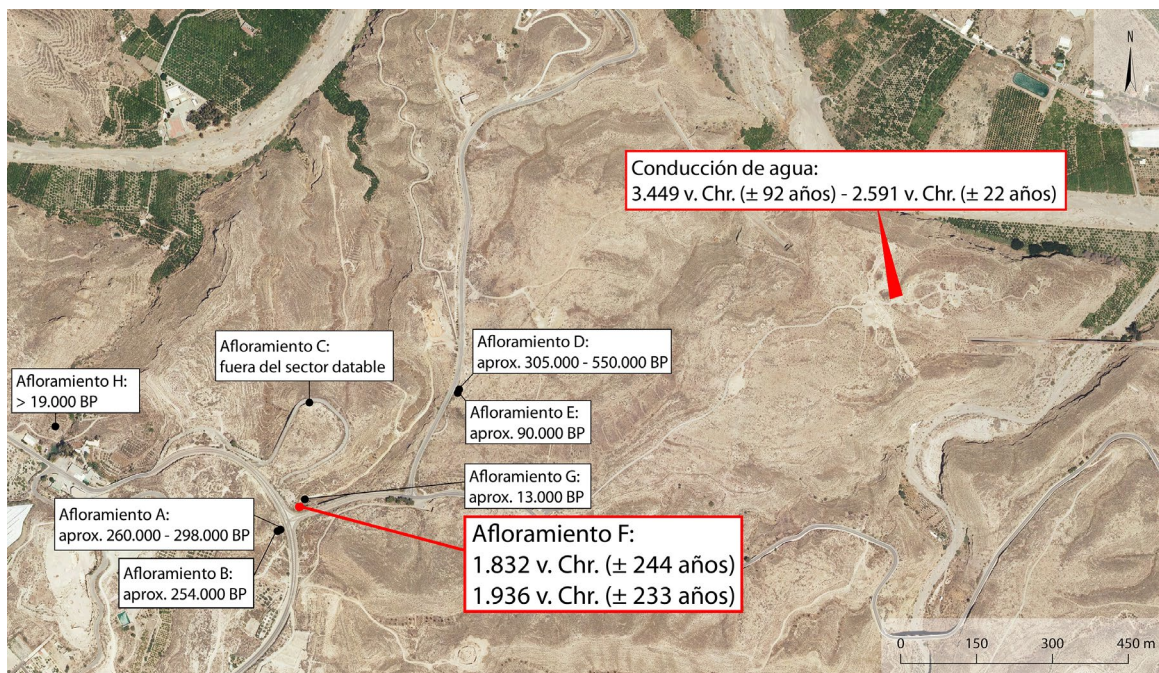


Fig. 12.—Mapa general de la zona de investigación con la ubicación de los afloramientos calcáreos en el exterior del asentamiento y los resultados de la datación (Ortofotografía © Instituto Geográfico Nacional de España, acceso: 06.11.2017). Figura en color en la edición electrónica.

Posibles emplazamientos de los manantiales

El periodo documentado para el acueducto del año 3.449 a.C. (+/- 92 años) y 2.591 a.C. (+/- 22 años), se comparó con los resultados de los análisis de $^{230}\text{Th}/\text{U}$ en las muestras de las capas estalagmíticas de ocho afloramientos travertínicos situados en el entorno más cercano al SO del asentamiento calcolítico. Esto tenía la intención de proporcionar una evidencia clara y definitiva de que una fuente estuviera activa durante la Edad del Cobre.

Casi todos los afloramientos muestreados inicialmente se formaron en el periodo del Pleistoceno Superior (Ioniano-Tarantino) y, por tanto, son notablemente más antiguos que las capas estalagmíticas del acueducto de Los Millares. Esta afirmación es válida también para las tobas calcáreas con restos carbonatados de plantas en la zona de alimentación supuesta por Siret, con edades de 90.000, 305.000 y 550.000 años BP (afloramientos D y E, muestras LM15, LM75 y LM76).

Sin embargo, sí fue positivo el resultado del análisis de las capas estalagmíticas existentes en el extremo superior del pequeño barranco que delimita el Llano de Los Millares en el oeste (fig. 10). Desde el punto de vista hidrogeológico en este punto era de esperar un manantial, debido a que se encuentra sobre una fractura que delimita los contactos de las principales formaciones sedimentarias del área (Fernández del Río *et al.*, 1990). Aquí se produjeron, desde finales del siglo XIX

TABLA 1
 RESULTADOS DE LAS DATACIONES POR ²³⁰Th/U (N.D.: NO DEFINIBLE AL QUEDAR FUERA DEL SECTOR DATABLE;
 S.D.: SIN DATOS POR EXIGIR DEMASIADAS CORRECCIONES; [J]: RELACIÓN DE ACTIVIDAD)

Código IUP	muestra	²³⁸ U (ng/g)	²³² Th (ng/g)	[²³⁰ Th/ ²³⁸ U]	[²³⁰ Th/ ²³² Th]	$\delta^{234}\text{U}$ ‰	edad sin corregir (kiloaños)	edad corregida (kiloaños)	$\delta^{234}\text{U}_{\text{in}}$ ‰	edad corregida (a. C.)
IUP-9369	LM18	1078.084 ± 0.081	41.840 ± 0.064	0.09487 ± 0.00036	7.510 ± 0.031	1485.4 ± 1.2	4.269 ± 0.017	3.85 ± 0.22	1481.4 ± 1.6	1832 ± 224
IUP-9665	LM74_B1	1404.361 ± 0.086	61.457 ± 0.088	0.09686 ± 0.00026	6.777 ± 0.021	1424.66 ± 0.777	4.435 ± 0.013	3.95 ± 0.23	1440.7 ± 1.2	1936 ± 233
IUP-9664	LM74_A1	1046.427 ± 0.066	96.66 ± 0.16	0.11207 ± 0.00046	3.713 ± 0.016	1420.56 ± 1.45	5.154 ± 0.020	4.13 ± 0.55	1437.1 ± 2.7	s.d.
IUP-8864	LM9	2720.84 ± 0.17	8.501 ± 0.014	0.09933 ± 0.00023	97.60 ± 0.27	1377.32 ± 0.79	4.643 ± 0.011	4.608 ± 0.022	1395.38 ± 0.81	2591 ± 22
IUP-8607	LM8	1863.33 ± 0.11	1.637 ± 0.004	0.09842 ± 0.00024	344.8 ± 1.2	1380.48 ± 0.93	4.641 ± 0.011	4.631 ± 0.013	1398.66 ± 0.64	2614 ± 13
IUP-9366	LM10_B	1930.14 ± 0.15	40.073 ± 0.094	0.10344 ± 0.00033	15.328 ± 0.060	1354.11 ± 0.92	4.887 ± 0.016	4.65 ± 0.12	1372.0 ± 1.0	2634 ± 122
IUP-8806	LM7	1582.045 ± 0.094	67.27 ± 0.24	0.11250 ± 0.00034	7.963 ± 0.037	1354.38 ± 0.77	5.323 ± 0.017	4.84 ± 0.22	1373.0 ± 1.2	2819 ± 224
IUP-9667	LM10	2014.34 ± 0.22	17.936 ± 0.039	0.10633 ± 0.00033	36.72 ± 0.14	1380.6 ± 1.1	4.969 ± 0.016	4.870 ± 0.053	1399.7 ± 1.1	2852 ± 53
IUP-8608	LM10	1100.912 ± 0.069	51.23 ± 0.12	0.11233 ± 0.00038	7.348 ± 0.030	1381.99 ± 0.97	5.688 ± 0.017	4.94 ± 0.25	1300.0 ± 1.3	2927 ± 246
IUP-9371	LM23	1943.26 ± 0.10	77.47 ± 0.17	0.11529 ± 0.00033	8.890 ± 0.032	1373.46 ± 0.78	5.413 ± 0.016	4.97 ± 0.22	1392.9 ± 1.2	2946 ± 223
IUP-9177	LM42	2634.49 ± 0.10	7.810 ± 0.015	0.10762 ± 0.00040	111.78 ± 0.47	1389.45 ± 0.75	5.011 ± 0.019	4.978 ± 0.026	1409.13 ± 0.76	2960 ± 26
IUP-9380	LM56	1416.375 ± 0.053	27.060 ± 0.060	0.11229 ± 0.00031	18.085 ± 0.064	1362.60 ± 0.76	5.704 ± 0.015	5.08 ± 0.10	1382.30 ± 0.86	3061 ± 100
IUP-9374	LM30	1280.843 ± 0.051	74.03 ± 0.15	0.12120 ± 0.00037	6.453 ± 0.024	1344.93 ± 0.79	5.767 ± 0.019	5.11 ± 0.32	1384.5 ± 1.5	3083 ± 321
IUP-9176	LM33	2544.858 ± 0.073	3.763 ± 0.008	0.10935 ± 0.00032	227.45 ± 0.82	1337.71 ± 0.77	5.710 ± 0.015	5.103 ± 0.018	1356.98 ± 0.78	3145 ± 39
IUP-9381	LM59	1209.51 ± 0.22	445.55 ± 0.77	0.19229 ± 0.00045	1.6065 ± 0.0047	1286.6 ± 1.1	9.605 ± 0.024	5.2 ± 2.3	1285.4 ± 8.5	s.d.
IUP-9378	LM43	1792.848 ± 0.055	50.437 ± 0.086	0.11549 ± 0.00029	12.630 ± 0.038	1318.85 ± 0.56	5.554 ± 0.016	5.23 ± 0.16	1338.49 ± 0.84	3213 ± 164
IUP-9375	LM31	1484.021 ± 0.056	15.354 ± 0.024	0.11105 ± 0.00030	32.65 ± 0.10	1305.73 ± 0.82	5.367 ± 0.016	5.246 ± 0.063	1325.24 ± 0.86	3228 ± 63
IUP-9373	LM29	1208.290 ± 0.048	48.216 ± 0.081	0.11874 ± 0.00031	9.153 ± 0.029	1301.87 ± 0.73	5.756 ± 0.016	5.28 ± 0.23	1321.5 ± 1.1	3277 ± 233
IUP-9379	LM53	1364.07 ± 0.19	22.724 ± 0.063	0.11543 ± 0.00041	21.35 ± 0.10	1321.46 ± 0.97	5.544 ± 0.020	5.353 ± 0.095	1341.6 ± 1.0	3335 ± 95
IUP-9372	LM258	1651.179 ± 0.097	25.377 ± 0.041	0.11678 ± 0.00033	23.390 ± 0.075	1307.91 ± 0.65	5.644 ± 0.015	5.467 ± 0.092	1328.28 ± 0.75	3449 ± 92
IUP-9663	LM73	1644.56 ± 0.12	29.017 ± 0.063	0.28834 ± 0.00080	50.32 ± 0.18	1488.09 ± 0.78	13.341 ± 0.040	13.16 ± 0.10	1544.45 ± 0.92	
IUP-9866	LM75	1015.451 ± 0.078	521.75 ± 0.81	0.4858 ± 0.0013	2.8969 ± 0.0090	1028.5 ± 1.5	29.208 ± 0.094	22.5 ± 3.6	1096 ± 11	
IUP-8866	LM75	1615.87 ± 0.11	35.147 ± 0.061	0.6701 ± 0.0016	94.39 ± 0.28	1707.76 ± 0.42	90.28 ± 0.34	89.60 ± 0.42	220.1 ± 0.6	
IUP-8863	LM6	821.188 ± 0.063	33.418 ± 0.053	1.8578 ± 0.0027	124.95 ± 0.28	851.82 ± 0.76	254.7 ± 1.5	254.3 ± 1.3	1337.2 ± 5.2	
IUP-8803	LM1_8-4 cm	1231.98 ± 0.67	8.932 ± 0.035	1.7486 ± 0.0052	755.1 ± 3.6	714.5 ± 2.0	263.3 ± 2.7	263.2 ± 2.7	1503 ± 12	
IUP-8604	LM1_17-14	539.021 ± 0.030	11.478 ± 0.020	1.7444 ± 0.0032	249.97 ± 0.64	865.42 ± 0.82	279.1 ± 1.8	278.9 ± 1.8	1507.6 ± 7.8	
IUP-8605	LM1_18-20	468.36 ± 0.21	1.7562 ± 0.0044	1.4433 ± 0.0030	144.31 ± 5.3	897.1 ± 1.8	294.5 ± 3.2	294.5 ± 3.2	1602 ± 16	
IUP-9667	LM76	1706.03 ± 0.14	108.37 ± 0.16	1.1468 ± 0.0022	55.39 ± 0.13	167.56 ± 0.98	306.08 ± 3.2	304.9 ± 3.2	396.6 ± 4.2	
IUP-9368	LM15	2025.55 ± 0.16	54.20 ± 0.11	1.2207 ± 0.0025	140.40 ± 0.41	162.02 ± 0.61	551 ± 25	550 ± 25	768 ± 54	
IUP-8865	LM14	2356.79 ± 0.13	0.2737 ± 0.0004	1.1900 ± 0.0015	3150.3 ± 60	1300.07 ± 0.33	n.d.	n.d.		

- Todos los márgenes de error se indican como valores 2σ.

- Las mediciones se hicieron con Neptune.

- Las edades de Th / U se refieren al año de medición (2018).

- Todas las edades fueron calculadas con el periodo de semidesintegración de Cheng *et al.* (2000).

- Todas las edades han sido corregidas según el Th detrítico, aplicando una relación peso-detritus ²³²Th/²³⁰U de 3.8 ± 1.9.

- Para determinar la concentración y el control de calidad se utilizó un "spike" de U-Th creado gravimétricamente y el material de referencia HU-1 (equilibrio secular).

- Las indeterminaciones de edad se indican como valores 2σ y no contienen las indeterminaciones de los periodos de semidesintegración. Estas se pueden atribuir principalmente a contaminaciones con sedimentos finos que contienen torio.

- Las edades de las muestras LM59, LM73 y LM74_A1 presentan un margen de error grande debido al alto contenido de ²³²Th.

- Todas las muestras fueron tomadas en el "acueducto" excepto: LM1, afloramiento A; LM6, afloramiento B; LM14, afloramiento C; LM15 y LM76, afloramiento D; LM1 y LM75, afloramiento E; LM18, LM74_A1 y LM74_B1, afloramiento F; LM19, afloramiento G; LM73, afloramiento H.

y XX, modificaciones importantes como consecuencia de la construcción de varias carreteras y un puente con maquinaria moderna. Debido a esto había poca esperanza de encontrar indicios de la existencia de una fuente de la Edad del Cobre.

No obstante, la muestra LM18 marcada en la figura 10 directamente delante del ya mencionado canal, de 37 cm de ancho, dio como fecha el año 1.832 a.C. (+/- 224 años). A fin de comprobar la datación, se tomaron de nuevo dos muestras en el canal más estrecho, de 17 cm de ancho (LM74_B1; LM74_A1, v. fig. 10). La edad de estas muestras se situó en el año 1.936 a.C. (+/- 233 años) y 2.117 a.C. (+/-550 años). El último valor puede cuestionarse debido a que la desviación estándar es demasiado grande, lo que se puede atribuir a la contaminación de la muestra por torio. Con todo, estas muestras encajan con el final de la Edad del Cobre o el comienzo de la Edad del Bronce en la Península Ibérica. Y mucho más tarde se abrieron los dos pequeños canales cortados sobre los travertinos del manantial.

Otra muestra del barranco (afloramiento G, LM19) está asociada al comienzo del Holoceno con 13.000 años BP. Lo que significa que el barranco ya transportaba agua, que fluía hacia el río Andarax, desde fines del Pleistoceno y el Holoceno Temprano hasta al menos los momentos finales de la Edad del Cobre y los inicios de la Edad del Bronce.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los análisis realizados han aportado la prueba arqueométrica de la existencia del acueducto de Los Millares descrito por Siret. El ingeniero de minas reconoció la importancia de estas capas estalagmíticas y descubrió así un asentamiento que utilizó esta ingeniería hidráulica única en la prehistoria de la Península Ibérica por las dimensiones cronológicas y espaciales descritas.

En contra de la hipótesis de que el acueducto se construyó en la fase 2 del asentamiento en la Edad del Cobre Medio, cuando se erigió la muralla exterior (v. Arribas *et al.* 1987:260 fig. 12), la conducción de agua existía ya en la primera fase de construcción de Los Millares, en la Edad del Cobre Temprano. Se comparan los análisis cronológicos del acueducto con las dataciones de radiocarbono de Molina *et al.* (2004:tab. 3) en el área del recinto fortificado, de dos fortines y de una tumba de corredor de Los Millares, que se sitúan entre el 3.285 a.C. y el 2.150 a.C. La fundación de Los Millares, fijada hasta ahora con dichas dataciones de radiocarbono “en torno al 3200/3100 A.C.” (Molina *et al.*, 2004:152), podrían ser anteriores en al menos 150 años.

Molina *et al.* (ibídem) se basan en que el asentamiento fue abandonado a partir del año 2.200 a.C. Solo hay dataciones de las capas estalagmíticas de los cimientos del acueducto de la Edad del Cobre Temprano y Medio, pero no de la Edad del Cobre Tardío y Final. El hecho coincide con la información verbal de F. Molina de que encima de la zona del acueducto excavada en los años 50 del siglo pasado, hoy ya no visible, se encontraron muros de casas de la Edad del Cobre en la zona de la segunda muralla.

Aproximadamente a 1,25 km al oeste-suroeste del tramo 2 del acueducto se tomaron muestras de capas estalagmíticas en un barranco que delimita el Llano de Los Millares por el oeste. La fecha más antigua de estas capas estalagmíticas —2.169 a.C.— coincide con la fecha más reciente publicada para Los Millares o, en su caso, para el fortín 4 por Molina *et al.* (2004:149, tab. 3) del año 2.150 a.C. Esto significa que en ese punto fluía agua del manantial cuando Los Millares fue abandonado o poco después.

Además, las condiciones similares de los isótopos de estroncio de las capas estalagmíticas permiten establecer una relación entre las mismas y el suministro de agua a Los Millares (v. Jakowski, en prensa). En este punto, en la transición de la Edad del Cobre a la Edad del Bronce todavía fluía agua del mismo manantial que alimentó el acueducto de Los Millares.

Desde una perspectiva hidrogeológica era lógico suponer que la ubicación del manantial se encontraría a escasos metros al suroeste del punto de muestreo. Sin embargo, tanto el sistema de captación original como las instalaciones ligadas a él probablemente fueron víctimas de las modernas obras de construcción de la carretera y el puente, que implicaron múltiples y amplias medidas con nuevos trazados de la carretera (IGME, 1896; IGME, 1978a). En cualquier caso, la excavación y el estudio del yacimiento y sus hallazgos merecen la pena.

El tendido de una conducción de agua por gravedad entre este barranco y el recinto fortificado era hidráulicamente posible por la pendiente existente. Probablemente, el trazado del acueducto siguió en gran medida las características morfológicas. En la medida en que desde el asentamiento discurriera a través de las mencionadas linealidades de los bancos de rocas y entre las *tholoi* al norte del centro de visitantes, la propuesta de Siret es plausible. Solo allí donde dobla hacia el noroeste, el trazado de Siret se puede cuestionar debido a los nuevos conocimientos. Aquí, el acueducto tuvo que discurrir más hacia el oeste hasta el mencionado barranco (véase fig. 13). Sin embargo, a pesar de las intensivas prospecciones del terreno no ha sido posible hallar una prueba del trazado del acueducto en su tramo inicial. Por un lado las modernas obras de construcción de la carretera, con el consiguiente terraplenado justo en las inmediaciones de la fuente, y por otro lado el uso agrícola con aterrazamientos han modificado notablemente la morfología de la zona.

No se tienen datos sobre cómo se construyó la conducción de agua ni con qué material ni si estaba abierta o cubierta para protegerla de la radiación solar y la suciedad. Según la descripción de Siret, el acueducto había sido construido “mediante piedras y tierra” (Siret, 1892:164), “produciendo así cordones en relieve” (Siret, 1893:196). Aunque esta descripción es plausible, no se ha podido documentar en ninguna parte. La única afirmación que puede hacerse sobre la base del hallazgo de los tramos 2 y 3 en el interior del asentamiento es que, en esos lugares, la conducción no fue estanca durante siglos, provocando regueros por los que fluía agua, de forma que pudieron formarse los depósitos laminares de capas estalagmíticas. Como explicación podría aducirse que quizá no se disponía de materiales de sellado adecuados, aunque en los alrededores de Los Millares

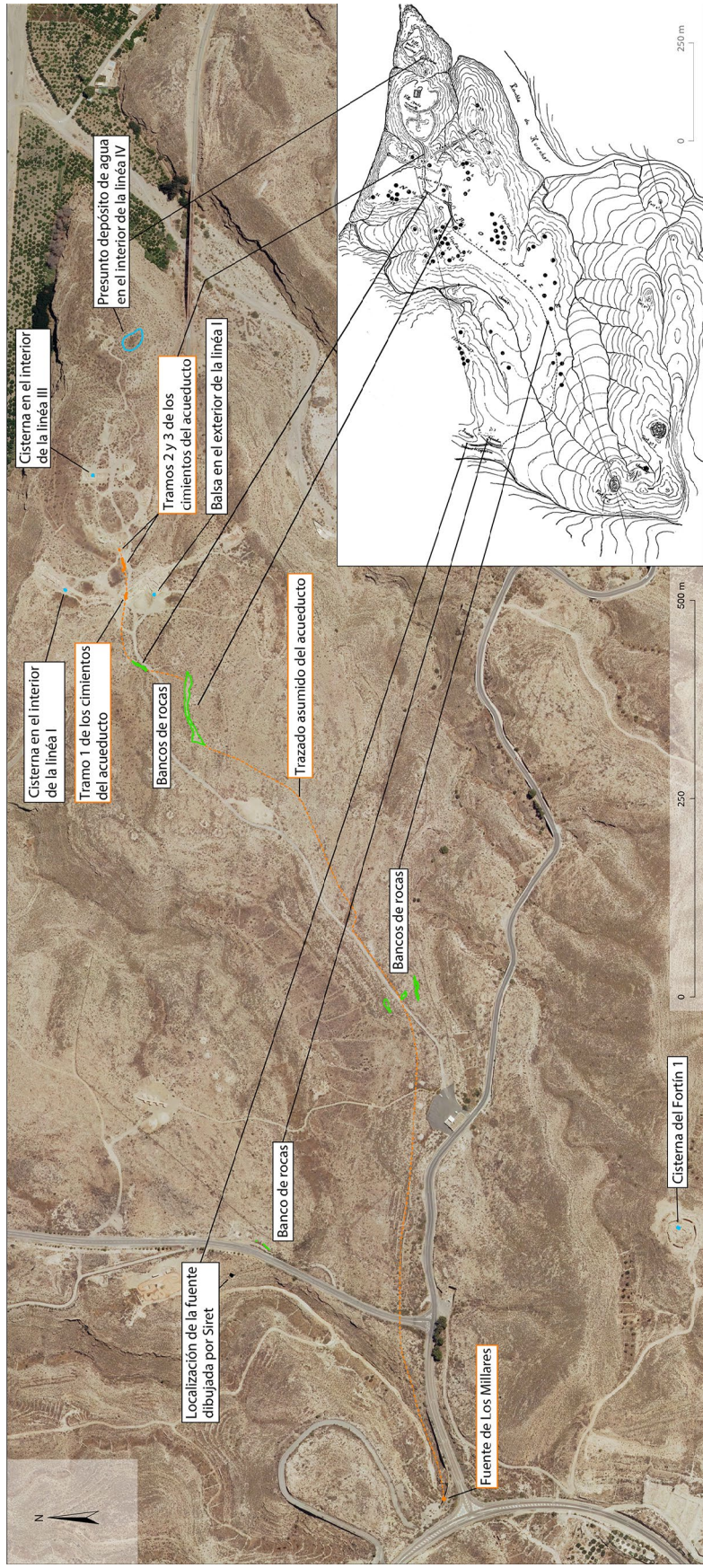


Fig. 13.—Comparación de los hallazgos medidos actualmente con el mapa de Siret (fuente: Almagro y Arribas, 1963:fig. 3) (Ortofotografía: © Instituto Geográfico Nacional de España, acceso: 06.11.2017). Figura en color en la edición electrónica.

hay sedimentos arcillosos y limosos que habrían permitido sellar el conducto con arcilla y musgo u otros materiales vegetales, o también que discurría tal cantidad de agua que no importaba si había fugas. Esta parece ser la explicación más plausible, ya que el agua del manantial tenía un porcentaje de agua termal. Por lo que se trataba de un manantial bien regulado por la importante surgencia termal de Alhama de Almería y por lo tanto con un caudal relativamente uniforme a lo largo del año (Jakowski, en prensa).

Para finalizar, cabe decir que el acueducto de Los Millares, de aproximadamente un kilómetro y medio de longitud, no era un acueducto en el sentido arqueológico clásico. Desde el punto de vista técnico no puede compararse con los acueductos romanos construidos 2.500 años después. Hoy no hay evidencia de puentes o al menos “muros de piedras y de tierra de hasta 2,5 m de altura” como los descritos por Siret (1893:196). Sólo se puede mencionar que el terreno de los tramos 1-3 dentro del asentamiento se inclina hacia el norte y el sur, claramente reconocible en una foto de 1983 (Arribas *et al.* 1983:138, lám. 1). En el presente trabajo utilizamos, al igual que nuestros colegas españoles, el término acueducto en el sentido latino original en el que *aquaeductus* significa conducción del agua. Esto se aplica a cualquier estructura artificial que sirva para la conducción de agua: canal abierto o subterráneo, tubería, conducción a cielo abierto de carácter permanente cómo una acequia, etc.

No obstante, esta conducción de agua garantizó, durante al menos 750 años, el abastecimiento del asentamiento fortificado, situado en un lugar perfecto para la defensa, pero sin acceso directo a agua potable. Todas las estructuras mencionadas del suministro de agua dan buena cuenta de la sofisticación, ingenio y desarrollo tecnológico de los habitantes de Los Millares.

AGRADECIMIENTOS

Los estudios se llevaron a cabo como parte de la tesina que A. Jakowski presentó en abril de 2019 en el Departamento de Prehistoria y Protohistoria (Facultad de Ciencias Arqueológicas, Universidad de Frankfurt/Main). La autora subraya su más sincero agradecimiento al profesor Dr. Michael Kunst por el interesante tema, por su ayuda y por su mediación con las autoridades españolas y la Universidad de Granada. Agradece de manera especial al profesor emérito Dr. Fernando Molina, (Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada), su generosidad al haberla permitido colaborar en Los Millares y en su propio proyecto.

Igualmente a los profesores Dr. Francisco Carrión y Dr. Gabriel Martínez del mismo Dpto. de la Universidad de Granada, a Ángela Suárez del Dpto. de Museos y Conjuntos de la Consejería de Cultura, a Miguel A. Fernández, arqueólogo inspector del Dpto. Protección P.H. de la Junta de Andalucía, y, de forma muy importante, al coordinador del enclave arqueológico de Los Millares, Dr. Martín Haro por su apoyo a la investigación.

Un agradecimiento muy especial merecen la profesora Dra. Dirce Marzoli, directora del Dpto. de Madrid del Instituto Arqueológico Alemán, y todos los colaboradores del centro por su interés y generoso apoyo.

Los trabajos han sido posibles gracias al apoyo financiero de la Sociedad Alemana de Investigación (Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG).

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO BASCH, M. y ARRIBAS PALAU, A. (1963): *El poblado y la necrópolis megalíticas de Los Millares, Bibliotheca Praehistorica Hispana III*, Madrid.
- ARRIBAS PALAU, A. y MOLINA GONZÁLEZ, F. (1982): “Neue Ausgrabungen in der kupferzeitlichen Siedlung (1978-1981)”, *Madrider Mitteilungen* 23, pp. 9-32.
- ARRIBAS, A., MOLINA, F., SÁEZ, L., DE LA TORRE, F., AGUAYO, P. y NÁJERA, T. (1981): “Excavaciones en Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería). Campaña de 1981”, *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 6, pp. 91-121.
- ARRIBAS, A., MOLINA, F., SÁEZ, L., DE LA TORRE, F., AGUAYO, P., BRAVO, A. y SUÁREZ, A. (1983): “Excavaciones en Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería). Campañas de 1982 y 1983”, *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 8, pp. 123-147.
- ARRIBAS, A., MOLINA, F., CARRIÓN, F., CONTRERAS, F., MARTÍNEZ, G., RAMOS, A., SÁEZ, L., DE LA TORRE, F., BLANCO, I. y MARTÍNEZ, J. (1987): “Informe preliminar de los resultados obtenidos durante la VI campaña de excavaciones en el poblado de Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería), 1985”, *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1987:II, pp. 245-262.
- ARPS, J. (2017): *Towards ϵ -precision of U-series age determinations of secondary carbonates*, tesis doctoral, Univ. Heidelberg.
- CAPEL, J., REYES, E., DELGADO, A., NUÑEZ, R. y MOLINA, F. (1998): “Palaeoclimatic identification based on a isotope study of travertine from the Copper Age site at Los Millares, South-eastern Spain”, *Archaeometry* 40:1, pp. 177-185.
- CHENG, H., EDWARDS, R., HOFF, J., GALLUP, C. RICHARDS, D. y ASMEROM, Y. (2000): “The half-lives of uranium-234 and thorium-230”, *Chemical Geology* 169, pp. 17-33.
- DIRECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y GEOTECNIA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (2000): *Unidades Hidrogeológicas de España, Mapa Escala 1:1.000.000 y Datos Básicos*, Madrid.
- DOUVILLE, E., SALLÉ, E., FRANK, N., EISELE, M., PONS-BRANCHU, E. y AYRAULT, S. (2010): “Rapid and precise 230Th/U dating of ancient carbonate using inductively coupled plasma-source quadrupole mass spectrometry”, *Chemical Geology* 272, pp. 1-11.
- FRANK, N., MANGINI, A. y KORFMANN, M. (2002): “230Th/U Dating of the Trojan ‘Water Quarries’”, *Archaeometry* 44:2, pp. 305-314.
- FERNÁNDEZ DEL RIO, G., LÓPEZ DEL CAMPO, E. y ALONSO BLANCO, J. M. (1990): “Estudio de inventario de captación y uso del agua subterránea en los acuíferos sobreexplotados de Pulpi Campo de Níjar y Bajo Andarax (Almería)”, Doc. interno SGOPI (sin publicar).
- GEYH, M. A. (2005): *Handbuch der physikalischen und chemischen Altersbestimmung*, Darmstadt.
- GOY, J. L., ZAZO, C. y DABRIO, C. J. (2003): “A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean)”, *Geomorphology* 50, pp. 251-268.
- GRIFFITHS, M. L., FOHLMEISTER, J., DRYSDALE, R. N., HUA, Q., JOHNSON, K. R., HELLSTROM, J. C. y ZHAO, J. X. (2012): “Hydrological control of the dead carbon fraction in a Holocene tropical speleothem”, *Quaternary Geochronology* 14, pp. 81-93.

- HOFFMANN, D. L., PRYTULAK, J., RICHARDS, D. A., ELLIOTT, T., COATH, C. D., SMART, P. L. y SCHOLZ, D. (2007): "Procedures for accurate U and Th isotope measurements by high precision MC-ICPMS", *International Journal of Mass Spectrometry* 264, pp. 97-109.
- HOFFMANN, G. (1988): "Holozänstratigraphie und Küstenlinienverlagerung an der andalusischen Mittelmeerküste", *Ber. Fachber. Geowissenschaften Univ. Bremen* 2.
- IGME (1896): Mapa Topográfico M. 1:25.000 Término municipal de Santa Fe de Mondújar, Hoja 1ª.
- IGME (1978a): Mapa Geológico de España, 1:50.000, Hoja n.º 1044 Alhama de Almería.
- IGME (1978b): Mapa Geológico de España, 1:50.000, Hoja n.º 1045 Almería.
- IGME (1986a): Mapa Hidrogeológico de España, Hoja I: Mapa Básico, Almería-Garrucha 84-85, M. 1:200.
- JAKOWSKI (en prensa): "Wasserversorgung im 4. und 3. Jt. v. Chr. in Andalusien: Der Aquädukt von Los Millares und daraus ableitbare Hinweise auf Klimaschwankungen", *Madrider Mitteilungen* 62.
- KUNST, M. (2010): "Kupferzeit und Umwelteinflüsse", *Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte der Iberischen Halbinsel und Mitteleuropas. Studien in honorem Philine Kalb* (T. Armbruster y M. Hegewisch, eds.), *Studien zur Archäologie Europas* 11, pp. 111-129.
- LAZARICH GONZÁLEZ, M. (2003): *El Jadramil (Arcos de la Frontera), Estudio Arqueológico de un asentamiento agrícola en la campiña gaditana*, Arcos de la Frontera.
- LOZANO RODRÍGUEZ J. A., CARRIÓN MÉNDEZ, F., MORGADO RODRÍGUEZ, A., GARCÍA GONZÁLEZ, D., AFONSO MARRERO, J. A., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, G., MOLINA GONZÁLEZ, F. y CÁMARA SERRANO J. A. (2010): "Capítulo XXI - Materias primas, productos líticos y circulación. Informe preliminar del estudio de los ajueres de la necrópolis de Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería)", *Minerales y rocas en las sociedades prehistóricas* (S. Domínguez-Bella, J. Ramos, J. M. Gutiérrez y M. Pérez, eds.), pp. 285-295.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, G. y AFONSO MARRERO, J. A. (2003): "Formas de disolución de los sistemas sociales comunitarios en la prehistoria reciente del sureste de la Península Ibérica", *RAMPAS* 6, pp. 83-114.
- MATOS, L., MIENIS, F., WIENBERG, C., FRANK, N., KWIATKOWSKI, C., GROENEVELD, J., THIL, F., ABRANTES, F., CUNHA, M. R. y HEBBELN, D. (2015): "Interglacial occurrence of cold-water corals off Cape Lookout (NW Atlantic): First evidence of the Gulf Stream influence, Deep Sea Research Part I", *Oceanographic Research Papers* 105, pp. 158-170.
- MOLINA GONZÁLEZ, F. (1989): "Proyecto Millares (los inicios de la metalurgia y el desarrollo de las comunidades del sud-este de la Península Ibérica durante la edad del cobre)", *Consejería de Cultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía*, pp. 211-213.
- MOLINA GONZÁLEZ, F. y CÁMARA SERRANO, J. A. (2005): *Los Millares, Guía del yacimiento arqueológico*, Junta de Andalucía, Sevilla.
- MOLINA GONZÁLEZ, F. y CÁMARA SERRANO, J. A. (2010): "Los Millares y su dominio sobre el valle de Andarax", *Revista PH* 73, pp. 60-65.
- MOLINA GONZÁLEZ, F., CÁMARA SERRANO, J. A., CAPEL MARTÍNEZ, J., NÁJERA COLINO, T. y SÁEZ PÉREZ, L. (2004): "Los Millares y la periodización de la prehistoria reciente del Sureste", *Simposios de Prehistoria de la Cueva de Nerja II-III*, pp. 142-158.
- PULIDO BOSCH, A., CALAFORRA, J. M., MOLINA, L., SÁNCHEZ MARTOS, F., VALLEJOS, A., GISBERT, J., CALVACHE, M. L., LÓPEZ CHICANO, M., MARTÍN ROSALES, W., MORENO BALCÁZAR, J. J., VAN WESEMAEL, B., DANIELE, L. y DÍAZ PUGA, M. A. (2008): "Caracterización hidrogeológica de acuíferos kársticos en regiones semiáridas. El caso del macrosistema Turón-Sierra de Gádor", *Geo-Temas* 10, pp. 1581-1584.
- SÁNCHEZ MARTOS, F., PULIDO BOSCH, A., VALLEJOS, A., MOLINA, L. y GISBERT, J. (2004): "Rasgos hidrogeoquímicos de las aguas termales en los acuíferos carbonatados del Bajo Andarax (Almería)", *Geogaceta* 35, pp. 171-174.
- SCHÜLE, W. (1980): *Orce und Galera. Zwei Siedlungen aus dem 3. bis 2. Jahrtausend v. Chr. im Südosten der Iberischen Halbinsel*, Mainz am Rhein.

- SIRET, L. (1892): “Investigaciones Prehistóricas en España”, *Del Neolítico al Bronce* (editado por J. Grima Cervantes, Almería, 1999), pp. 157-172.
- SIRET, L. (1893): “España Prehistórica”, *Del Neolítico al Bronce* (editado por J. Grima Cervantes, Almería, 1999), pp. 183-238.
- SÜRMELEHINDI, E. G. (2013): “Roman aqueducts and calcareous sinter deposits”, <https://publications.ub.uni-mainz.de/theses/volltexte/2013/3502/pdf/3502.pdf>
- WEFING, A., ARPS, J., BLASER, P., WIENBERG, C., HEBBELN, D. y FRANK, N. (2017): “High precision U-series dating of scleractinian cold-water corals using an automated chromatographic U and Th extraction”, *Chemical Geology* 475, pp. 140-148.